

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



Grado en Ingeniería Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

**COMPARATIVA CONSUMO DE ANCHO DE BANDA
NAVEGADOR Y APLICACIÓN**

**Autor: Jorge Durán León
Tutor: Javier Aracil Rico**

junio 2021

COMPARATIVA CONSUMO DE ANCHO DE BANDA NAVEGADOR Y APLICACIÓN

AUTOR: Jorge Durán León

TUTOR: Javier Aracil Rico

**Grado en Ingeniería Informática
Dpto. Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Junio 2021**

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado plantea la cuestión de si es posible reducir el consumo de ancho de banda haciendo uso de las aplicaciones desde el navegador web en lugar de instalarlas en el ordenador y ejecutarlas en el mismo.

Para la consecución de este trabajo se han hecho tres comparaciones de dichas ejecuciones con servicios que basan su funcionamiento en el uso de Internet. Se han hecho experimentos en los cuales se ha capturado la red del cliente usando la herramienta Wireshark mientras se está ejecutando el servicio.

Los servicios escogidos para esta experimentación han sido el servicio de correo, el servicio de streaming de contenido multimedia almacenado y el servicio de videollamadas. Una vez se ha capturado el flujo de la red mientras se usaban los servicios, se han analizado las gráficas y las estadísticas que definen el consumo de ancho de banda producido por la utilización de dichos servicios y se ha comparado dicho consumo para corroborar la tesis planteada.

El resultado en todos los experimentos ha sido que para el mismo servicio ejecutado bajo las mismas condiciones, la ejecución de la aplicación en el navegador web consume considerablemente menos ancho de banda que la ejecución en la aplicación de escritorio.

Palabras clave

Ancho de banda, navegador web, Captura de red, Internet

Abstract

This Bachelor Thesis raises the question of whether it is possible to reduce bandwidth consumption by making use of the applications from the web browser instead of installing them on the computer and running them on it.

To achieve this work, three comparisons of these executions have been made with services that base their operation on the use of the Internet. Experiments have been done in which the client's network has been captured using the Wireshark tool while the service is running.

The services chosen for this experimentation have been the mail service, the stored multimedia content streaming service and the videocalling service.

Once the network flow has been captured while the services were being used, the graphs and statistics that define the bandwidth consumption produced by the use of the services have been analyzed and said consumption has been compared to corroborate the thesis. The result in all the experiments has been that for the same service executed under the same conditions, the execution of the application in the web browser consumes considerably less bandwidth than the execution in the desktop application.

Keywords

Bandwidth, Web browser, Network capture, Internet

Gracias a mis tías Remedios y Laura por dejarme utilizar su casa para las pruebas, espero no haber molestado.

También agradecer a mis amigos Adrián y Daniel, y a mi hermana Lucía por ayudarme con las videollamadas.

INDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Organización de la memoria.....	2
2	Estado del arte	3
2.1	Importancia del ancho de banda	3
2.2	Navegadores web, cachés y servidores proxy	5
2.3	Servicios del estudio del consumo de ancho de banda.....	6
2.3.1	Aplicaciones de servicio de correo electrónico	7
2.3.2	Aplicaciones de streaming multimedia almacenado	7
2.3.1	Aplicaciones de videollamada	8
3	Desarrollo	11
3.1	Metodología.....	11
4	Experimentos y resultados.....	15
4.1.1	Aplicaciones de servicio de correo	15
4.1.2	Aplicaciones de streaming multimedia almacenado	20
4.1.3	Aplicaciones de videollamada	24
5	Conclusiones.....	29
	Referencias	31
	Glosario	32

INDICE DE FIGURAS

1	FIGURA 1-1: VELOCIDAD MÍNIMA DE DESCARGA DE DISTINTOS SERVICIOS	4
2	FIGURA 3-1: WIRESHARK, OPCIONES DE CAPTURA, ENTRADA	11
3	FIGURA 3-2: WIRESHARK. OPCIONES DE CAPTURA, OPCIONES.....	12
4	FIGURA 3 3: WIRESHARK. OPCIONES DE CAPTURA, SALIDA	12
5	FIGURA 4 1: CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	16
6	FIGURA 4 2: GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	16
7	FIGURA 4 3: ESTADÍSTICAS DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	17
8	FIGURA 4 4: PAQUETES DE INICIO DE LA CONEXIÓN TCP DEL SERVICIO DE CORREO ELECTRÓNICO	17
9	FIGURA 4 5 : PAQUETES DE FIN DE LA CONEXIÓN TCP DEL SERVICIO DE CORREO ELECTRÓNICO. 18	
10	FIGURA 4 6: CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE EL NAVEGADOR WEB	18

11	FIGURA 4 7: GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE EL NAVEGADOR WEB	19
12	FIGURA 4 8: CAPTURA DEL SERVICIO DE STREAMING MULTIMEDIA ALMACENADO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	20
13	FIGURA 4 9 GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA SERVICIO DE STREAMING MULTIMEDIA ALMACENADO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	21
14	FIGURA 4 10: ESTADÍSTICAS DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE STREAMING MULTIMEDIA ALMACENADO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	21
15	FIGURA 4 11: CAPTURA DEL SERVICIO DE STREAMING MULTIMEDIA ALMACENADO DESDE EL NAVEGADOR WEB	22
16	FIGURA 4 12: GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE STREAMING MULTIMEDIA ALMACENADO DESDE EL NAVEGADOR WEB	23
17	FIGURA 4 13: ESTADÍSTICAS DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	23
18	FIGURA 4 14 CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	24
19	FIGURA 4 15: GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	25
20	FIGURA 4 16: ESTADÍSTICAS DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	26
21	FIGURA 4 17: CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	27
22	FIGURA 4-18: GRÁFICA DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE LA CAPTURA DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO	27
23	FIGURA 4 19: ESTADÍSTICAS DE LA CAPTURA DEL SERVICIO DE CORREO DESDE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO.....	28

1 Introducción

1.1 Motivación

Los servicios informáticos no serían lo que son hoy en día sin la aparición de Internet. Gracias a esta brillante tecnología podemos establecer contacto con cualquier persona de cualquier parte del mundo que también tenga acceso a Internet. En este último año tan complicado por la pandemia, en la que ha sido necesario realizar un confinamiento domiciliario para paliar los efectos de esta, han sido de vital importancia tecnologías como los servicios de videoconferencia para las reuniones de trabajo o para las clases escolares, como también las plataformas que ofrecen contenido multimedia para poder pasar un buen rato y tratar de despejar la mente en unos momentos tan complicados para todo el mundo.

Que todas las personas convivientes de un domicilio estén usando la red para las tareas previamente mencionadas puede hacer que se congestione la red y que no se pueda disfrutar de un servicio de calidad. Este es un gran problema para el usuario final, ya que el hecho de no poder disfrutar de todas las prestaciones que ofrece un servicio por esperas, parones o baja calidad de este puede hacer que se acabe frustrando y deje de hacer lo que estaba haciendo.

Normalmente, en los hogares se contrata una tarifa de ancho de banda que permite llegar hasta un máximo de ancho de banda, dependiendo de las tecnologías disponibles. Por ejemplo, se puede contratar la fibra óptica que puede llegar hasta los 300 Mbps o 1 Gbps. Una posible opción para solventar el problema de la escasez de la conexión a Internet por compartir el ancho de banda es contratar un servicio de red que ofrezca mayor ancho de banda. Es una solución simple y clara en teoría, pero no todo el mundo lo puede llevar a la práctica dado que sería añadir más gastos al final de mes y con los tiempos que corren no todo el mundo puede permitírselo.

Por ello, es necesario buscar alternativas que puedan sin incurrir en más gastos de dinero y que cualquier usuario se lo pueda permitir. En este documento se abordará una discusión para ver cómo se puede reducir el consumo de ancho de banda con soluciones que están al alcance de cualquier persona con acceso a Internet.

1.2 Objetivos

Esta memoria de TFG (Trabajo de Fin de Grado) refleja una fórmula para hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles de la red. Las empresas y los particulares contratan tarifas de red a los proveedores y puede que no sea necesario contratar un servicio tan costoso como el que pueden tener contratado en ese momento.

En los siguientes apartados del documento se intentará demostrar por medio de experimentación una solución práctica para reducir el consumo de ancho de banda y poder seguir usando las mismas plataformas y aplicaciones. El único cambio que habría que hacer es usar las aplicaciones accediendo a ellas desde el navegador en lugar de descargarse la aplicación de escritorio.

Después de leer la memoria el lector quedará convencido de la tesis planteada mediante demostraciones empíricas. Para ello se capturarán los paquetes de la red mientras se estén usando las aplicaciones y se comparará el consumo de ancho de banda que se produce en el uso de las aplicaciones en el escritorio y en el navegador.

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- Estado del arte. En este apartado se habla sobre la importancia del ancho de banda y cómo afecta a los distintos servicios que hacen uso de Internet. También se habla sobre los navegadores web y las tecnologías de la web que se usan para reducir el ancho de banda en las comunicaciones.
- Desarrollo. En este apartado se habla sobre la metodología que se ha seguido para la realización de los experimentos.
- Experimentación y resultados. En este apartado se habla sobre la realización de los experimentos y se comparan los resultados de las ejecuciones del servicio desde la aplicación de escritorio y desde el navegador web.
- Conclusiones. En este apartado se hace una reflexión final sobre el tema estudiado y si los resultados han sido satisfactorios.

2 Estado del arte

2.1 Importancia del ancho de banda

Se conoce como ancho de banda a la cantidad de datos transmitidos por unidad de tiempo en una comunicación a través de la red. Generalmente, es medido en bits/s. El consumo de ancho de banda es una medida crucial a la hora de analizar los sistemas informáticos, ya que su capacidad es limitada y los distintos dispositivos de una organización o de una casa estarán compitiendo por él al realizar distintas actividades que requieran el uso de Internet como puede ser navegar por la web, enviar correo, ver una película o realizar una videollamada. Todos los servicios que hacen posible que se puedan realizar las actividades previamente mencionadas compiten por el ancho de banda disponible para poder ofrecer un servicio de calidad, pero unas requieren una cantidad mayor del uso de la red que otras debido a la naturaleza de dichas actividades. Por ejemplo, una búsqueda en la web no va a ser tan exigente como una videollamada. Por lo que es evidente que para que haya capacidad de ancho de banda para todas las actividades es necesario repartirlo de la manera en que cada actividad consuma el mínimo de ancho de banda necesario que cumpla los requerimientos para disfrutar de un servicio de calidad sin colapsar la red.

Como ha sido mencionado, algunos servicios necesitan tener un ancho de banda mínimo garantizado a una tasa específica. Este tipo de servicios son más sensibles al ancho de banda que haya disponible en ese momento, ya que necesitan que sus paquetes sean enviados con la mayor brevedad posible. Estamos hablando de los servicios que ofrecen contenido multimedia, ya sean plataformas de streaming multimedia o aplicaciones de videollamadas. Para este tipo de servicios es crucial tener una conexión lo suficientemente rápida para poder disfrutar del servicio a la mayor calidad. Además, no es necesario que llegue toda la información, algunos fragmentos pueden tener menor calidad dependiendo del ancho de banda disponible e incluso pueden llegar a perderse. Debido a esta característica de no tener

Otros servicios no necesitan tener un mínimo de ancho de banda, está claro que cuanto más ancho de banda mejor, pero aquí lo importante es que el servicio se llegue a realizar con total seguridad y que no se pierda información. Entran dentro de este tipo de servicios las transacciones bancarias o el servicio de correo electrónico, donde lo importante es que la información llegue en su totalidad a su destino.

Actividad	Velocidad Mínima de Descarga (Mbps)
Uso General	
Navegación General y Correo	1
Descarga de Radio por Internet	Menor que 0.5
Llamadas por Internet (VoIP)	Menor que 0.5
Estudiante	5 - 25
Trabajo a Distancia	5 - 25
Descarga de Archivo	10
Medios Sociales	1
Mirar Videos	
Descargar Video de Definición Estándar	3 - 4
Descargar Video de Alta Definición (HD)	5 - 8
Descargar Video de Definición Ultra HD 4K	25
Videoconferencia	
Llamada Personal con Video Estándar (ej.: Skype)	1
Llamada Personal con Video HD (ej.: Skype)	1.5
Teleconferencia con Video HD	6
Juegos	
Consola de Juegos Conectada a Internet	3
Multijugador ("Multiplayer") Conectado a Internet	4

Date Last Updated/Reviewed: Tuesday, February 6, 2018

1Figura 1-1: Velocidad mínima de descarga de distintos servicios

Tener el suficiente ancho de banda disponible es indispensable para realizar satisfactoriamente las tareas que requieran el uso de Internet. Si no la red está demasiado cargada y el usuario no puede disfrutar de todas las prestaciones que ofrece un servicio, este se acaba frustrando y puede dejar de hacer lo que estaba haciendo. Pero los usuarios no son los únicos que se preocupan por el ancho de banda que consumen los servicios que utilizan. Las organizaciones que se encargan de desarrollar las aplicaciones y los distintos servicios de Internet tienen que estar muy pendientes de hacer un uso eficiente del ancho de banda. Al final, si los clientes tienen que esperar demasiado para que se carguen los contenidos de la aplicación dejarán de usarla y probarán las aplicaciones de los competidores. Por muy vistosa y bien diseñada que pueda estar una aplicación, los tiempos de espera tienen que ser lo más rápidos posibles.

Además, desde el punto de vista de una organización que tiene un servicio que usan millones de personas diariamente, si su servicio consume demasiado ancho de banda puede suponer un gran gasto de los recursos de la red y puede hacer que esta se congestione. También hay que tener en cuenta el gasto dinero que supone que millones de usuarios utilicen sus servicios por lo que optimizar los recursos para que el gasto sea el menor posible es una tarea de gran importancia de la que se tienen que preocupar los desarrolladores de las aplicaciones.

2.2 Navegadores web, cachés y servidores proxy

Las plataformas ofrecen sus servicios mediante dos tipos de aplicaciones para que los usuarios accedan a ellas desde sus dispositivos, las aplicaciones de escritorio y las aplicaciones web. Las aplicaciones de escritorio son aquellas que son descargadas e instaladas en los dispositivos de los usuarios y se quedan almacenadas en ellos. Las aplicaciones web son aquellas que son accedidas desde un navegador web. El usuario realiza una consulta al navegador web o browser para acceder a la plataforma y este realiza una conexión con los servidores de la aplicación mediante el protocolo de aplicación de la web, HTTP (HyperText Transfer Protocol). Ejemplos de browser son Google Chrome, Microsoft Edge o Mozilla Firefox. Los navegadores web hacen peticiones HTTP a los servidores web para cargar el contenido de sus páginas, y estos se los envían mediante una respuesta HTTP. HTTP está implementado sobre la capa de transporte TCP (Transmission Control Protocol), por lo que los paquetes siempre van a llegar a su destino y contiene un mecanismo para controlar la congestión.

La Web es una de las aplicaciones más ampliamente utilizadas diariamente, por lo que el volumen de datos que puede circular por la red por las necesidades de la Web es inmenso. Si los servidores y las redes tuviesen capacidades ilimitadas no habría problema para que todo esto funcionase perfectamente, pero esto no es así, hay que trabajar con recursos limitados. Por lo que ha sido necesario implementar soluciones que permitan reducir el uso del ancho de banda de la web.

Una de estas soluciones muy potentes es el uso de las cachés web y los servidores proxy. Este tipo de servidores sirven de intermediarios de los clientes web con los servidores web, almacenando las consultas más recientes y las más frecuentes de la red a la que está conectada. Se basan en el mismo concepto que las memorias caché de los dispositivos, si se ha usado una porción de memoria recientemente es muy probable que vuelva a ser usada en un futuro cercano. Cuando se realiza una petición, primero se mira si está almacenada en la caché o el servidor proxy, y si este la contiene, la devuelve, ahorrando así que los paquetes tengan que circular entre un servidor web más lejano y el cliente web. Además de reducir el ancho de banda de la red, también se reduce la latencia que experimenta el usuario que está usando el cliente web, ya que va a tener que esperar menos tiempo a que se resuelva su petición, mejorando así la experiencia del uso de la Web.

Los contenidos dentro de una página web pueden ser contenidos estáticos o dinámicos, es decir que pueden permanecer igual siempre o pueden cambiar dependiendo

de las necesidades del usuario, incluso siendo personalizados para cada usuario. El hecho de haya contenido que permanezca inamovible siempre que se renderice la página hace que sea innecesario volver a pedir al servidor esos objetos, por eso existe la posibilidad de realizar peticiones en las que se pregunte al servidor si ese contenido ha cambiado o no, para reducir el volumen de datos que circulan por la red. Este tipo de petición HTTP se conoce como condicional GET. El browser realiza una petición mirando los metadatos del objeto que tiene que renderizar. Se mira el campo que contiene la fecha de la última vez que se modificó el objeto, *last_modified*, para guardar esa fecha e incluirla en la cabecera de la petición HTTP en el campo *if-modified-since*. Si el objeto se ha modificado el servidor lo devuelve, si no el servidor devuelve una respuesta status con el código “304 Not Modified”. Los componentes estáticos son los que se suelen almacenar en las cachés. Con esto se ahorra tener que mandar objetos innecesariamente si no han sido modificados. Así cuando hay necesidad de hacer llamadas al servidor porque hay un recurso dinámico que necesita ser actualizado no mandan peticiones para los recursos que no necesitan actualizarse.

Además, para reducir el tamaño de los objetos de una página estos pueden ser comprimidos, reduciendo así también el consumo de ancho de banda ya que se envían paquetes más pequeños. La compresión puede ser negociada entre el cliente y el servidor antes de empezar a enviar los paquetes con los datos. Para ello, la petición HTTP del browser tiene que llevar en la cabecera el campo *Accept-Encoding*, y el servidor elige un algoritmo de compresión y lo devuelve en la cabecera de la respuesta HTTP en el campo *Content-Encoding*. También puede ser comprimida y filtrada en los diferentes servidores proxy por los que circule. Para ello, cada vez que se compriman los datos del paquete tiene que especificarse con qué algoritmo se ha hecho la compresión en el campo *Transfer-Encoding* de la cabecera HTTP.

Dependiendo del tipo de objeto que sea se comprime de una manera o de otra. Por ejemplo, para los objetos de texto HTML, CSS y JavaScript se eliminan espacios en blanco, caracteres innecesarios o metadatos que no influyan en el correcto funcionamiento de la página web. Un programa de compresión que se suele usar es gzip, que es de software libre.

2.3 Servicios del estudio del consumo de ancho de banda

Para la experimentación de este Trabajo de Fin de Grado se han escogido tres servicios que hacen uso de Internet para comparar el consumo de ancho de banda desde la aplicación de escritorio y desde la aplicación web. Estos tres servicios son el servicio de

correo electrónico, el servicio de streaming de contenido multimedia almacenado y el servicio de videollamadas. A continuación, se va a hacer un breve repaso de estas tecnologías y cómo afecta el ancho banda a la calidad de su servicio.

2.3.1 Aplicaciones de servicio de correo electrónico

El primer servicio con el que se van a realizar los experimentos es el servicio de correo. El servicio de correo electrónico fue uno de los primeros servicios que aparecieron en Internet y sigue siendo muy importante hoy en día ya que es un servicio ampliamente utilizado. Es un servicio que no requiere que haya mucho ancho de banda disponible, ya que la comunicación entre el remitente y receptor no es a tiempo real, sino que se envía el mensaje y cuando el usuario se conecte mediante su cliente de correo lo recibirá.

Enviar un correo electrónico con solo texto no es una actividad que consuma mucho ancho de banda, pero el hecho de enviar y recibir muchos correos al día entre los distintos usuarios de la misma red ya es de importancia. Además, en los correos el texto suele ir acompañado de archivos adjuntos, añadiéndole más bytes al correo que va a circular por la red.

Para conectarse con los servidores de correo, los usuarios utilizan los agentes de usuario de correo electrónico, que son las aplicaciones que contienen la interfaz para que los usuarios puedan leer, escribir y enviar los correos. El protocolo de aplicación utilizado para enviar los correos electrónicos al servidor de correo de cada usuario es SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), que también es usado para enviar el correo del servidor de correo del remitente al servidor de correo del receptor. Los protocolos usados para recibir el correo desde el servidor de correo al agente de usuario son POP3 (Post Office Protocol – Version 3) e IMAP (Internet Mail Access Protocol). Los tres protocolos están implementados sobre TCP en la capa de transporte. Este hecho es necesario ya que lo importante para el correo electrónico es que llegue en su totalidad, no hace falta que llegue rápido.

Cuando se usan los servicios de correo desde la web el protocolo que se usa es HTTP para conectarse desde el agente de usuario al servidor de correo del usuario, tanto como para enviar correo como para recibirlo. Se produce una conexión HTTP como si el servidor de correo estuviese haciendo una petición del mail que se va a enviar.

2.3.2 Aplicaciones de streaming multimedia almacenado

El siguiente servicio en el que se ha estudiado el consumo de ancho de banda es el de las aplicaciones de streaming multimedia almacenado. Este tipo de aplicaciones

pertenecen a los servicios que distribuyen contenido multimedia por la red, que son de las que más ancho de banda consumen. Esto se debe sobre todo a la alta tasa de bits a la que es necesaria transmitir los archivos para no perder la calidad, hecho de gran importancia para el vídeo. Esta calidad puede ser escogida por el usuario final o adaptada por el servicio con el objeto de tener la máxima calidad para una reproducción continua.

El servicio de streaming de audio y/o vídeo almacenado se caracteriza por que el archivo multimedia ya ha sido previamente grabado y el cliente tiene la potestad de parar, reanudar, adelantar, atrasar e incluso acelerar y ralentizar la reproducción de este. La característica más importante para este tipo de servicio es que el cliente reciba el archivo multimedia de manera que lo reproduzca como si estuviese almacenado en su dispositivo, una reproducción en la que no se produzcan parones ni se salten fragmentos.

Este servicio usa HTTP streaming sobre TCP para la retransmisión del vídeo. Este tipo de sistema de streaming se caracteriza por que se establece una conexión TCP en la que el cliente envía una petición de tipo GET al servidor y este lo envía al cliente sobre TCP. Al ser sobre TCP, la retransmisión del vídeo está sujeta a los mecanismos que ofrece TCP a la red para controlar la congestión, por lo que el streaming del vídeo se puede ver comprometido.

Para que la conexión no se vea comprometida por las medidas que usa TCP, este tipo de aplicaciones descarga el vídeo a una tasa más alta de la que lo reproduce y lo almacena en un buffer en el cliente antes de que sea reproducido. Con esta técnica se consigue que cuando no se puedan recibir tantos paquetes del servidor como son necesarios para la reproducción ésta siga funcionando correctamente. Cuando se llena el buffer del cliente, el servidor no envía más paquetes y una vez se va vaciando el buffer del cliente, el servidor envía más paquetes. Este hecho se puede observar con claridad en los experimentos, distinguiéndose dos momentos que se repiten constantemente durante la retransmisión.

Este tipo de servicio también puede aprovecharse de los servidores proxy, aunque parezca extraño porque los archivos de vídeo ocupan demasiado tamaño como para que sea rentable. Lo que se hace es almacenar en el servidor proxy los primeros fragmentos del vídeo y cuando un usuario manda una petición, este le envía el vídeo de respuesta y además realiza una petición al servidor web para que le envíe los fragmentos restantes del vídeo.

2.3.1 Aplicaciones de videollamada

El último servicio que ha sido estudiado es el de las aplicaciones de videollamadas. Al igual que en el caso anterior, contenido multimedia es distribuido por la

red. En este caso el servicio es demandante porque para los usuarios finales tiene que haber una sensación de que la conversación se produce como si estuviesen en el mismo sitio manteniendo una conversación. Por esta razón es de vital importancia conseguir una comunicación con el menor delay y pérdida de información posibles.

Al contrario que en las aplicaciones de audio y vídeo almacenado, los clientes no pueden seleccionar la calidad de la reproducción y manejarla a su antojo, si no que es únicamente el propio servicio el que se adapta a las condiciones de la red y del dispositivo para ofrecer un servicio de la mayor calidad posible.

Este tipo de servicio utiliza UDP (User Datagram Protocol) como protocolo de nivel de transporte, por lo que el servidor enviará los paquetes de transmisión sin preocuparse de si van a llegar o no y sin preocuparse de que puedan congestionar la red. Se utiliza este protocolo debido a que debe parecer que se está realizando la conversación en persona, por lo que es necesario que se envíen los paquetes lo más rápido posible. Sobre este protocolo de transporte están implementados los protocolos de aplicación RTP (Real-time Transport Protocol), en el cual se especifica en sus cabeceras el tipo de contenido multimedia audio o video que se envía en el paquete y campos para organizar la transmisión de la llamada como pueden ser los números de secuencia y el tiempo correspondiente a ese paquete; y el protocolo SIP (Session Initiation Protocol), con el cual se especifican acciones externas al flujo de la transmisión de la llamada más centradas en controlar la sesión de la llamada como puede ser comenzar una llamada, parar una llamada o colgar una llamada.

Antes hemos mencionado que el protocolo usado en la Web es HTTP y que corre sobre TCP, no sobre UDP. Entonces, ¿cómo se realizan las llamadas sobre la Web? Para ello existe un proyecto de código abierto llamado webRTC (web Real Time Communication), en el que participan grandes corporaciones como Apple, Google, Microsoft y Mozilla para llevar el servicio de videollamadas a la Web.

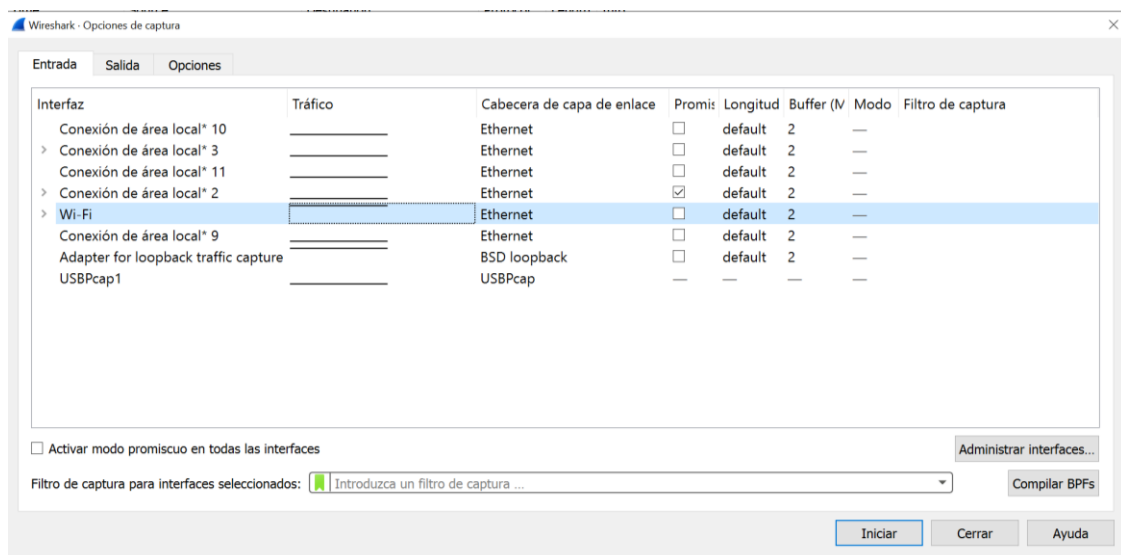
El servicio de videoconferencias es uno de los que más ancho de banda consume. Sobre todo en llamadas grupales en donde puede haber múltiples personas con la cámara conectados. Este es un servicio que ha sido muy importante durante este último año debido a la pandemia y al confinamiento que provocó. Ha sido un desafío para todo el mundo, ya que la gente tenía que teletrabajar como pudiese y los alumnos tenían que atender a las clases diariamente, por lo que poder tener acceso al servicio de videollamadas y tener una llamada de calidad ha sido un factor determinante. Al estar muchas personas encerradas en sus casas cada uno atendiendo a sus reuniones ha hecho que sea necesario buscar soluciones que reduzcan el consumo de ancho de banda.

3 Desarrollo

3.1 Metodología

Todos los experimentos han sido realizados en el mismo dispositivo. Este dispositivo es el ordenador Acer Switch SA5-271 con procesador Intel Core i5-6200U y 8 GB de RAM. El sistema operativo usado ha sido Windows 10 Home versión 20H2. Para capturar los paquetes de la red ha sido utilizada la aplicación Wireshark. Cada captura ha tenido una duración de 10 minutos, tiempo suficiente para poder observar las características de la red. El procedimiento común para la realización de los distintos experimentos ha sido el siguiente:

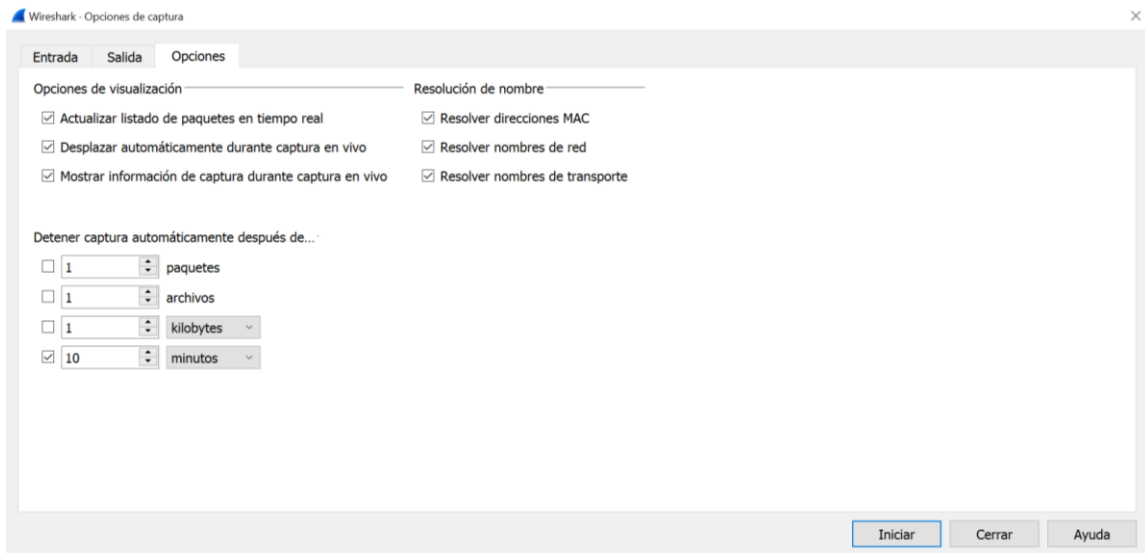
Se ejecuta la herramienta Wireshark en modo administrador. Este paso es necesario porque para capturar los paquetes de las interfaces de red se necesitan permisos de superusuario. Antes de comenzar las capturas de la red se ha abierto el menú de opciones de la captura y se han seguido los siguientes pasos:



2Figura 3-1: Wireshark, Opciones de Captura, Entrada

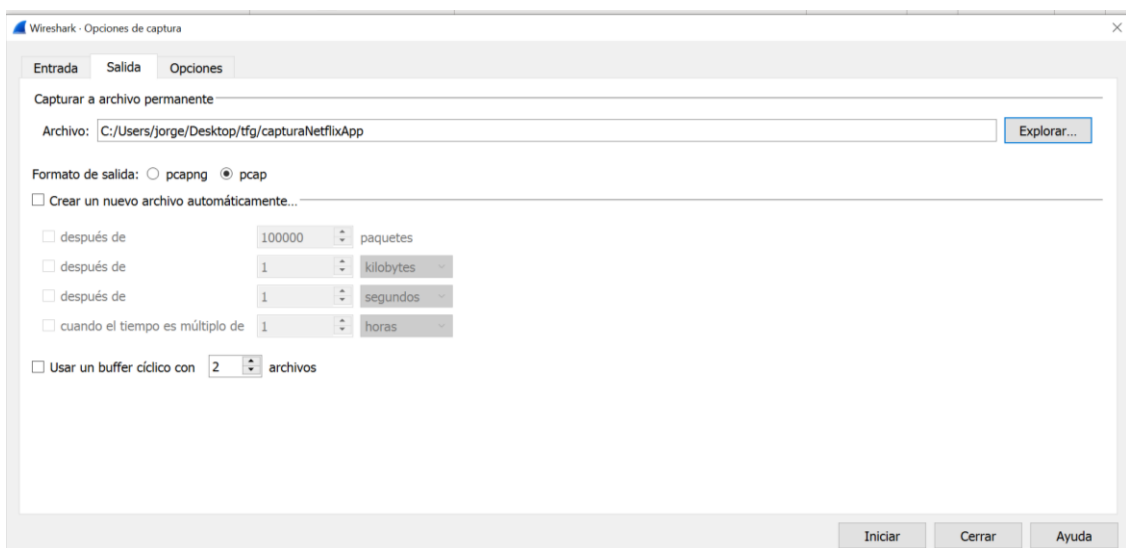
Como interfaz elegimos “Wi-Fi”, que es el tipo de conexión que es usada para conectarnos a la red. Es el tipo de conexión de enlace que se suele utilizar en los hogares, por lo que el experimento será fiel con la realidad.

Se desactiva el modo promiscuo para que solo se capturen los paquetes que son transmitidos desde y hasta el dispositivo que está realizando la captura, ya no importan los paquetes que vayan a otros dispositivos.



3Figura 3-2: Wireshark. Opciones de Captura, Opciones

Detener la captura automáticamente después de 10 minutos para el caso de los servicios multimedia. Para el caso del servicio de correo se han capturado menos de 30 segundos para comparar el envío de un email.



4Figura 3 3: Wireshark. Opciones de Captura, Salida

Guardar la captura con un nombre que les identifique. Ej: captura de la red mientras se usa Netflix desde la aplicación de escritorio sería “CapturaNetflixApp”. Las demás opciones de captura se dejan con los valores y opciones que venían por defecto.

Después, una vez ha sido iniciada la actividad del servicio a estudiar, se ha iniciado la captura con el botón “Iniciar” desde el menú de opciones de la captura.

Una vez finalizada la captura, se ha extraído la gráfica de bit/s a lo largo del tiempo. Esto se ha conseguido desde el menú de estadísticas con la opción de “Gráficas de E/S”. En la gráfica obtenemos por defecto los paquetes a lo largo del tiempo, tanto enviados como recibidos, ya que usamos el filtro de todos los paquetes, porque era la única actividad que estaba haciendo uso de la red en ese momento. Para cambiarlo a bit/s se cambia el Y-Axis del filtro a “Bits” y se deja el X-Axis a 1 segundo. Así se obtiene la gráfica de los bits consumidos cada segundo.

Por último, observamos las estadísticas de la captura proporcionadas por Wireshark en el menú de estadísticas con la opción de “Propiedades de archivo de captura”.

Así, una vez se han conseguido las gráficas del consumo de ancho de banda y las estadísticas de un mismo servicio tanto desde la aplicación de escritorio como desde el navegador web se procede a compararlas para sacar las conclusiones de la experimentación. Se ha comparado el número de paquetes de la captura, el número de paquetes por segundo promedio, el total de bytes de la captura y el número de bit/s promedio de la captura. También se ha comparado el valor de el segundo en el que se ha llegado al máximo de ancho de banda consumido en la captura, observándolo desde la gráfica proporcionada por Wireshark.

4 Experimentos y resultados

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas para tres distintos servicios que hacen uso de Internet: aplicaciones de servicio de correo, aplicaciones de streaming multimedia almacenado y aplicaciones de videollamada. Se hablará sobre qué tipo de servicio de Internet requieren esos servicios y cómo influye el ancho de banda en esos servicios. Luego se discutirán los resultados de la experimentación para cada servicio.

Al estar los paquetes encriptados, no se puede ver su contenido a no ser que tengamos acceso a la clave privada que se produjo en el instante en el que hizo la captura. Aunque sería interesante estudiarlo, el contenido de los paquetes no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado, ya que lo que importa es el ancho de banda consumido.

4.1.1 Aplicaciones de servicio de correo

Para la realización del experimento se ha comparado el consumo de ancho de banda de Gmail desde la aplicación de Microsoft Outlook y desde el navegador. En ambos casos se ha enviado un mail con texto y con 4 fotos adjuntos. Tanto el texto como las fotos han sido exactamente los mismos en los dos casos para partir con las mismas condiciones en ambas capturas. El mensaje era el siguiente:

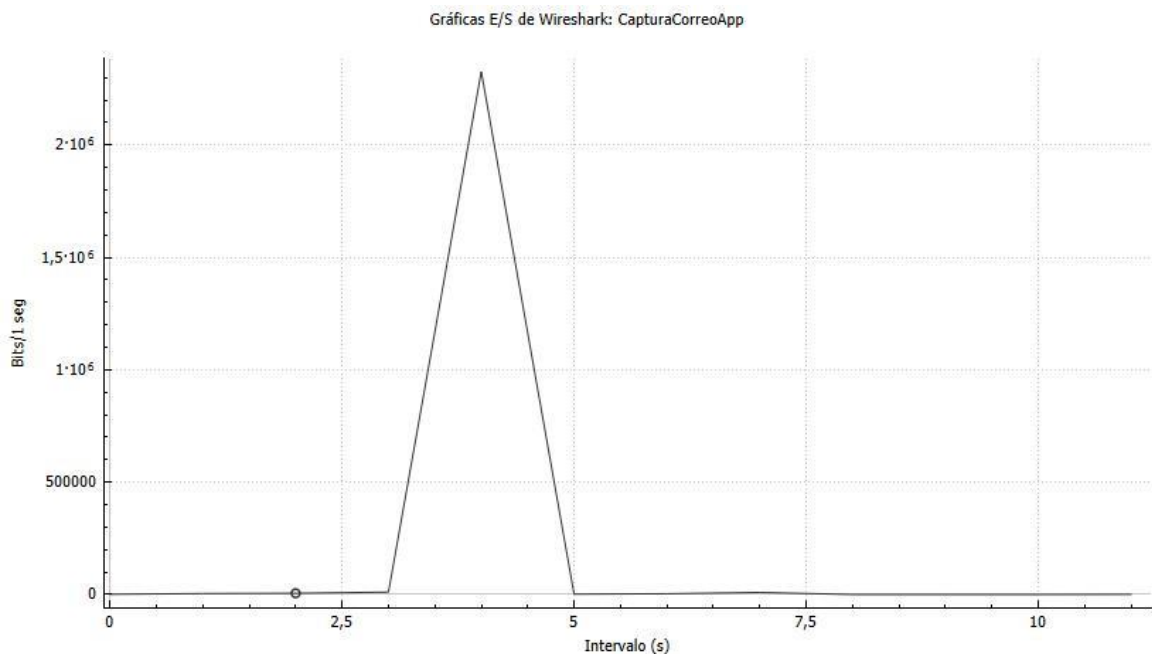
“
Hola,
Este es un mail para mi tfg y contiene 4 imágenes.
Un saludo,
Jorge
“

Las 4 fotos tenían los siguientes tamaños respectivamente: 56 KB, 47 KB, 45KB y 41KB. Las fotos se han enviado sin comprimir. Comenzamos viendo la captura del envío del mail para la aplicación de escritorio:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
13	3.904025	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	66	57402 → urd(465) [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK
14	3.934418	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	66	urd(465) → 57402 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1430
15	3.934497	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	54	57402 → urd(465) [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131328 Len=0
16	3.934923	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	456	Client Hello
17	3.967138	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	60	urd(465) → 57402 [ACK] Seq=1 Ack=403 Win=66816 Len=0
18	3.967138	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	169	Server Hello, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
19	3.968265	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	105	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
20	3.999066	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	137	Application Data
21	4.021479	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	104	Application Data
22	4.053483	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	303	Application Data
23	4.107259	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	54	57402 → urd(465) [ACK] Seq=504 Ack=448 Win=131072 Len=0
24	4.235617	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	370	Application Data
25	4.273329	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	60	urd(465) → 57402 [ACK] Seq=448 Ack=820 Win=67840 Len=0
26	4.318124	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	103	Application Data
27	4.358145	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	54	57402 → urd(465) [ACK] Seq=820 Ack=497 Win=130816 Len=0
28	4.375158	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	117	Application Data
29	4.405406	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	60	urd(465) → 57402 [ACK] Seq=497 Ack=883 Win=67840 Len=0
30	4.405406	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	125	Application Data
32	4.405733	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TLSv1.2	116	Application Data
34	4.436993	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TLSv1.2	125	Application Data

5Figura 4 1: Captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

Aquí podemos observar que como protocolo de la capa de transporte se usa TCP, como era de esperar. En este caso, al enviar un correo desde nuestro agente de correo sin usar la web, el protocolo de aplicación encargado de que esto ocurra es SMTP, aunque no lo podemos ver porque está encriptado. La gráfica resultante de la captura es la siguiente:



6Figura 4 2: Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura de correo desde la aplicación de escritorio

El pico de consumo de ancho de banda de está captura se corresponde con el momento exacto en el que se envió el email desde la aplicación de Microsoft Outlook, que según la herramienta Wireshark se produce en el segundo 4 de la captura y tiene un valor total de $2,327 \times 10^6$ bits/s. Aplicamos el siguiente filtro para sacar las estadísticas de la captura para la conexión TCP del envío del correo:

`(ip.dst == 192.168.1.37 and ip.src == 66.102.1.109) or (ip.dst == 66.102.1.109 and ip.src == 192.168.1.37)`

Se aplica este filtro porque las capturas del servicio de correo se hicieron con distinta longitud temporal, porque como en este caso solo se envía un correo y solo se comunica con el servidor cuando se envía no era necesario ser muy meticulosos con el tiempo. No es como con los contenidos multimedia que para compararlos es necesarios ser muy estrictos con el tiempo. Pero aplicando este filtro podemos comparar las estadísticas del envío del correo en ambos experimentos. Las estadísticas para el envío de correo desde la aplicación de escritorio son las siguientes:

Estadísticas

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	437	412 (94.3%)
Espacio de tiempo, s	11.240	4.049
Promedio pps	38.9	101.7
Promedio de tamaño de paquete, B	676	710
Bytes	295494	292487 (99.0%)
Promedio de bytes/s	26k	72k
Promedio de bits/s	210k	577k

7Figura 4 3: Estadísticas de la captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

En este caso, como se ha aplicado un filtro, hay que fijarse en las estadísticas de la captura mostrada. Los 4.049 segundos mostrados corresponden a la duración de la conexión TCP, como se puede observar con los mensajes de inicio y final de la conexión en las siguientes imágenes extraídas de la captura:

13	3.904025	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	66 57402 → urd(465) [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_
14	3.934418	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	66 urd(465) → 57402 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1430 S

8Figura 4 4: Paquetes de inicio de la conexión TCP del servicio de correo electrónico

434	7.953438	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	60 urd(465) → 57402 [FIN, ACK] Seq=881 Ack=268154 Win=611328 Len=0
435	7.953438	wb-in-f109.1e100.net	192.168.1.37	TCP	60 urd(465) → 57402 [ACK] Seq=882 Ack=268155 Win=611328 Len=0
436	7.953514	192.168.1.37	wb-in-f109.1e100.net	TCP	54 57402 → urd(465) [RST, ACK] Seq=268155 Ack=881 Win=0 Len=0

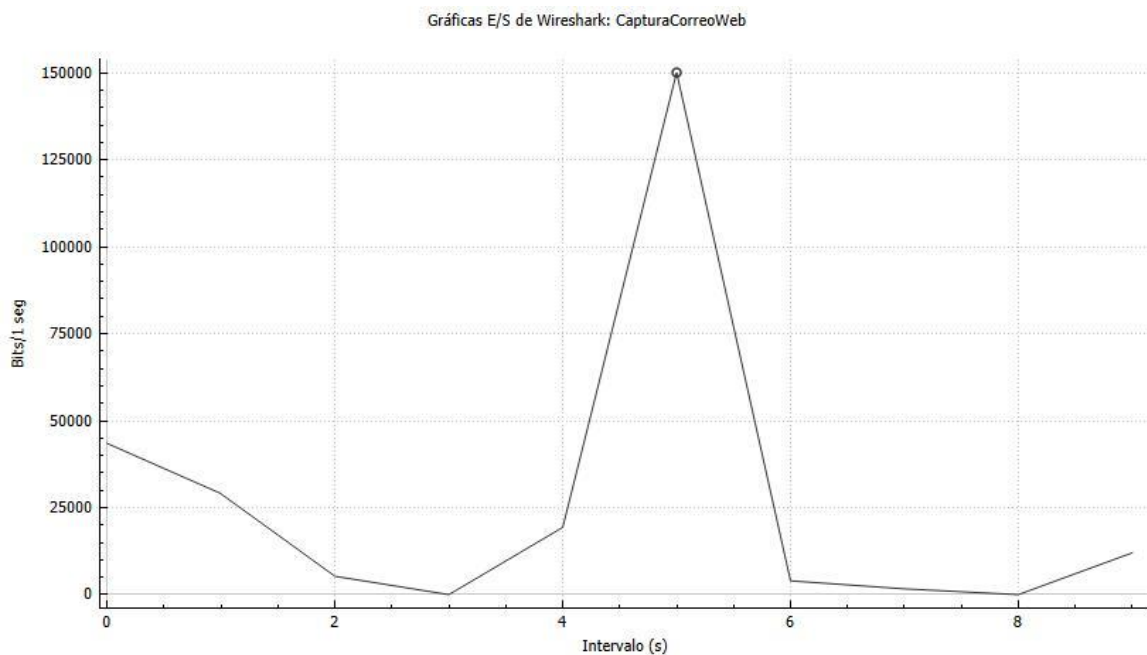
9Figura 4 5 : Paquetes de fin de la conexión TCP del servicio de correo electrónico

En total, en esta conexión TCP se han enviado 412 paquetes, con un promedio de 101.7 paquetes por segundo, aunque como se observa en la gráfica, la mayoría de los paquetes se han enviado en el segundo 4, que es cuando se envió el mail, por lo que el promedio en este caso no es muy importante. Para medir el consumo de banda ancha en el caso del correo electrónico lo verdaderamente significativo es ver el máximo de ancho de banda consumido, que se corresponde con el momento en el que se envió el correo y, como ha sido mencionado antes, tiene un valor de $2,327 \times 10^6$ bits/s.

Realizando el mismo experimento pero desde el navegador Mozilla Firefox con la aplicación web de Gmail obtenemos la siguiente gráfica:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
55	5.143670	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TLSv1.2	189	Application Data
56	5.151675	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 57461 [ACK] Seq=1 Ack=1431 Win=8731 Len=0
57	5.151675	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 57461 [ACK] Seq=1 Ack=1566 Win=8731 Len=0
58	5.151675	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	173	Application Data
59	5.151675	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	1484	Application Data
60	5.151675	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	1027	Application Data
61	5.151770	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TCP	54	57461 → https(443) [ACK] Seq=1566 Ack=2523 Win=4122 Len=0
62	5.155367	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	93	Application Data
63	5.155428	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TCP	54	57461 → https(443) [ACK] Seq=1566 Ack=2562 Win=4122 Len=0
64	5.155537	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TLSv1.2	93	Application Data
65	5.156576	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TCP	1484	57461 → https(443) [ACK] Seq=1605 Ack=2562 Win=4122 Len=1430 [TCP
66	5.156576	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TLSv1.2	647	Application Data
67	5.156700	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TCP	1484	57461 → https(443) [ACK] Seq=3628 Ack=2562 Win=4122 Len=1430 [TCP
68	5.156700	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TCP	1484	57461 → https(443) [ACK] Seq=5058 Ack=2562 Win=4122 Len=1430 [TCP
69	5.156700	192.168.1.37	mad07s09-in-f5.1e10...	TLSv1.2	1338	Application Data
70	5.163797	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 57461 [ACK] Seq=2562 Ack=3035 Win=8731 Len=0
71	5.163797	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 57461 [ACK] Seq=2562 Ack=5058 Win=8731 Len=0
72	5.169614	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 57461 [ACK] Seq=2562 Ack=7772 Win=8731 Len=0
73	5.562151	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	452	Application Data
74	5.562151	mad07s09-in-f5.1e10...	192.168.1.37	TLSv1.2	1484	Application Data

10Figura 4 6: Captura del servicio de correo desde el navegador web



11Figura 4 7: Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura del servicio de correo desde el navegador web

En este caso el pico se produce en el momento en el que se envía el email pero además hay otros momentos en los que se consume ancho de banda debido al uso del navegador. En este caso el valor del pico se produce en el segundo 5 con un consumo de 1.501×10^5 bit/s.

Como en el caso anterior hemos comprobado que las estadísticas de la captura no son significativas para el envío de correo, no van a ser comparadas. Lo que sí que va a ser comparado es el valor máximo de ambas capturas. Comparando los dos valores se observa que en el caso de usar la aplicación web el consumo de ancho de banda tiene un valor aproximadamente 15 veces más pequeño para el mismo email enviado desde la aplicación de escritorio

Con la cantidad de mensajes que se envían diariamente, sobre todo en una organización en la que continuamente se está hablando con clientes, proveedores, etc. que enviar el mismo mail desde la aplicación de escritorio sea 15 veces más costoso que enviarlo desde el navegador es una diferencia remarcable, ya que hacerlo desde la aplicación web puede reducir considerablemente el consumo del ancho de banda y con ello reducir gastos.

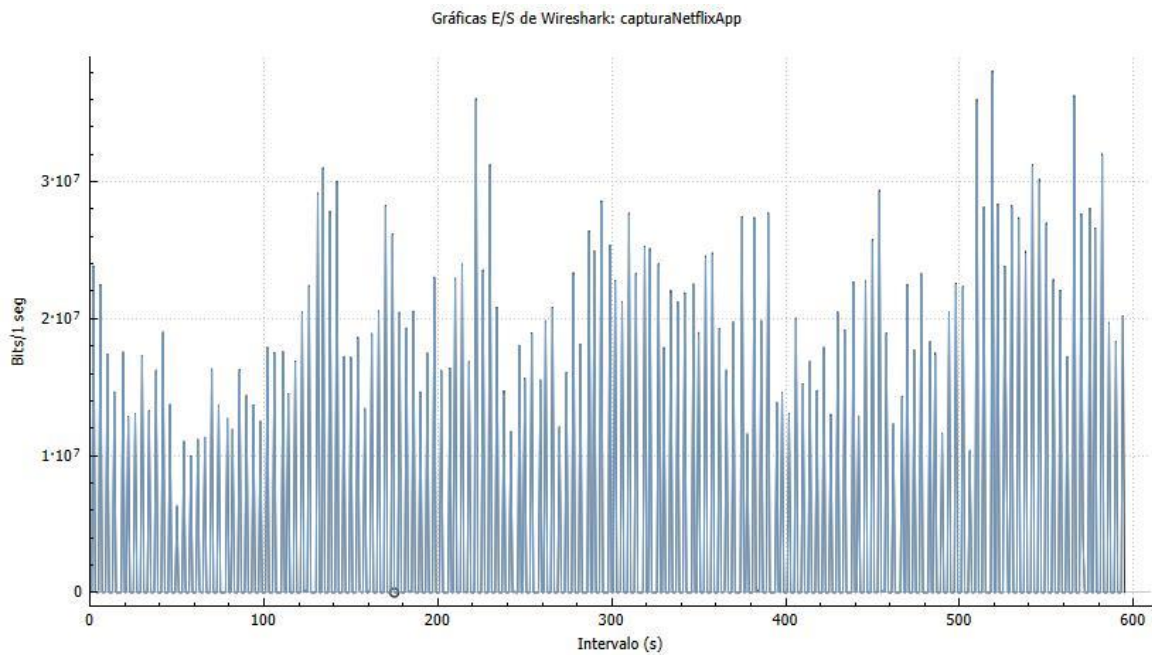
4.1.2 Aplicaciones de streaming multimedia almacenado

Para la realización del experimento se ha comparado el consumo del servicio de Netflix desde la aplicación de escritorio y desde el navegador, ambos con la pantalla completa y con la calidad de vídeo que asigna por defecto el servicio.

Comenzamos observando la gráfica de la captura del servicio de la aplicación de escritorio. El sistema de transmisión de contenido multimedia de Netflix utiliza HTTP streaming sobre TCP, como se puede ver en la figura 4-8.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TLSv1.2	173	Application Data
2	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=120 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP segm
3	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=1572 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP seg
4	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=3024 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP seg
5	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=4476 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP seg
6	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=5928 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP seg
7	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TCP	1506	50588 → https(443) [ACK] Seq=7380 Ack=1 Win=1024 Len=1452 [TCP seg
8	0.000463	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TLSv1.2	216	Application Data
9	0.000651	192.168.1.37	ec2-54-155-178-5.eu...	TLSv1.2	92	Application Data
10	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=91 Len=0 SLE=7380 SRE=883
11	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	[TCP Window Update] https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=97 Le
12	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	[TCP Window Update] https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=102 L
13	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	74	[TCP Window Update] https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=108 L
14	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=3024 Win=114 Len=0 SLE=7380 SRE
15	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=1572 Win=108 Len=0 SLE=7380 SRE
16	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=4476 Win=119 Len=0 SLE=7380 SRE
17	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	66	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=5928 Win=125 Len=0 SLE=7380 SRE
18	0.041060	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	60	https(443) → 50588 [ACK] Seq=1 Ack=9032 Win=131 Len=0
19	0.142132	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TCP	2958	https(443) → 50588 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=9032 Win=131 Len=2904 [TCP
20	0.142132	ec2-54-155-178-5.eu...	192.168.1.37	TLSv1.2	218	Application Data

Figura 4 8: Captura del servicio de streaming multimedia almacenado desde la aplicación de escritorio



13Figura 4 9 Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura servicio de streaming multimedia almacenado desde la aplicación de escritorio

Cuando los bits enviados tienen el valor de 0 es cuando el buffer está lleno, y cuando no, es que el servidor ha podido enviar más fragmentos del vídeo.

El pico de consumo de ancho de banda se produce en el segundo 519s con un valor de $3,811 \times 10^7$ bit/s. En este tipo de servicio es interesante ver cuál es el valor del máximo, pero no es la característica más determinante. En este caso sí que va a ser interesante estudiar las estadísticas recogidas en la captura de 10 minutos de streaming multimedia. En la figura 4-10 se observan las estadísticas de la captura que nos proporciona la herramienta Wireshark.

Estadísticas

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	65610	36171 (55.1%)
Espacio de tiempo, s	595.671	594.732
Promedio pps	110.1	60.8
Promedio de tamaño de paquete, B	5819	10499
Bytes	381813659	379742272 (99.5%)
Promedio de bytes/s	640k	638k
Promedio de bits/s	5127k	5108k

14Figura 4 10: Estadísticas de la captura del servicio de streaming multimedia almacenado desde la aplicación de escritorio

En este caso se ha aplicado un filtro en que solo se muestren los paquetes con el destino del dispositivo que recibe el contenido multimedia, porque son esos paquetes los que verdaderamente consumen el ancho de banda. Los paquetes que envía el dispositivo que recibe el contenido multimedia al servidor que lo envía contienen, en su mayoría, información sobre la conexión TCP, como puede ser el tamaño de la ventana o el ACK para indicar que el paquete se ha recibido correctamente.

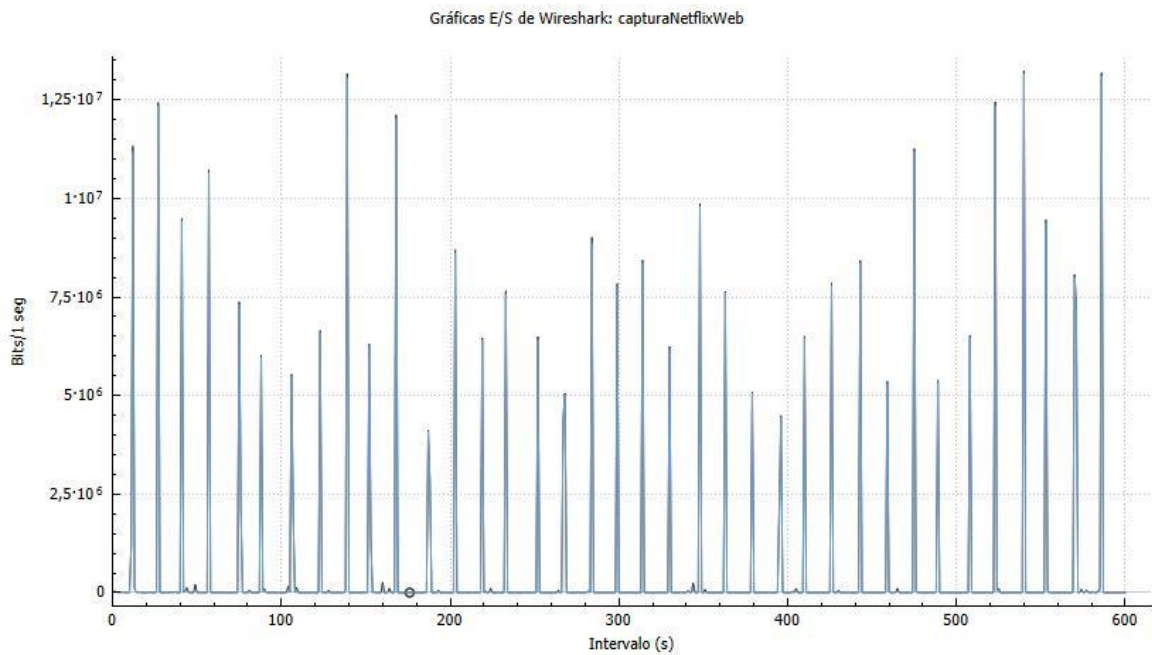
Se observa que en total durante la conexión se han enviado 65610 paquetes, de los cuales el 55.1% son enviados al receptor del streaming y esos paquetes suponen el 99.5% del total de bytes enviados durante la conexión, como era de esperar. El promedio de bits por segundo enviados durante la conexión tiene un valor de 5127 kb/s.

A continuación, se analiza la captura del uso del servicio de streaming multimedia desde el navegador web Mozilla Firefox. La figura 4-11 contiene un extracto de dicha captura.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
133	11.990569	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	536	Application Data
134	11.990569	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TCP	13122	https(443) → 50768 [ACK] Seq=483 Ack=733 Win=2050 Len=13068 [TCP s
135	11.990973	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=13551 Win=4616 Len=0
136	11.991918	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	7314	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
137	11.992077	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=20811 Win=4616 Len=0
138	11.992339	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	21834	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
139	11.992503	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=42591 Win=4616 Len=0
140	11.992724	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	16026	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
141	11.992854	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=58563 Win=4616 Len=0
142	11.997801	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	14574	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
143	11.998068	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=73083 Win=4616 Len=0
144	11.998361	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TCP	4410	https(443) → 50768 [ACK] Seq=73083 Ack=733 Win=2050 Len=4356 [TCP
145	11.998514	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=77439 Win=4616 Len=0
146	11.998754	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	21834	Application Data, Application Data
147	11.998971	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=99219 Win=4616 Len=0
148	11.999254	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	21834	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
149	11.999485	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=120999 Win=4616 Len=0
150	11.999724	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	21834	Application Data [TCP segment of a reassembled PDU]
151	11.999960	192.168.1.37	4.red-81-45-152.sta...	TCP	54	50768 → https(443) [ACK] Seq=733 Ack=142779 Win=4616 Len=0
152	12.000285	4.red-81-45-152.sta...	192.168.1.37	TLSv1.2	21834	Application Data, Application Data

15Figura 4 11: Captura del servicio de streaming multimedia almacenado desde el navegador web

La gráfica resultante es la representada en la figura 4-12.



16Figura 4 12: Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura del servicio de streaming multimedia almacenado desde el navegador web

A simple vista se puede observar que se han enviado menos paquetes que en la de la aplicación de escritorio. El pico de consumo de ancho de banda se produce en el segundo 540 y tiene un valor de $1,325 \times 10^7$ bits/s. Al igual que en el caso anterior observamos las estadísticas proporcionadas por Wireshark:

Estadísticas

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	8878	4519 (50.9%)
Espacio de tiempo, s	600.250	597.612
Promedio pps	14.8	7.6
Promedio de tamaño de paquete, B	4695	9067
Bytes	41680116	40973971 (98.3%)
Promedio de bytes/s	69k	68k
Promedio de bits/s	555k	548k

17Figura 4 13: Estadísticas de la captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

Observando las estadísticas de la figura 4-13 se ve una diferencia considerable en la cantidad de paquetes que han circulado en la transmisión, 65610 en la aplicación de escritorio frente a 8878 en la del navegador web. En la de escritorio el promedio de paquetes por segundo ha sido de 1101 mientras que en la aplicación web ha sido de 14,8 paquetes por segundo. Y por último destacaremos la diferencia entre el promedio de bits/s en la de escritorio que ha sido de 5127 kbits/s, mientras que en la del navegador web ha sido de 555 kbit/s.

La diferencia entre ambas conexiones radica sobre todo en la cantidad de paquetes que se han enviado durante la transmisión. Debido a esta diferencia en la cantidad de información recibida, la aplicación de escritorio ofrece una mayor calidad en la reproducción del vídeo, pero esto significa que la reproducción desde el navegador no haya sido satisfactoria ya que se ha podido disfrutar perfectamente del contenido multimedia, aunque con una calidad de reproducción ligeramente peor.

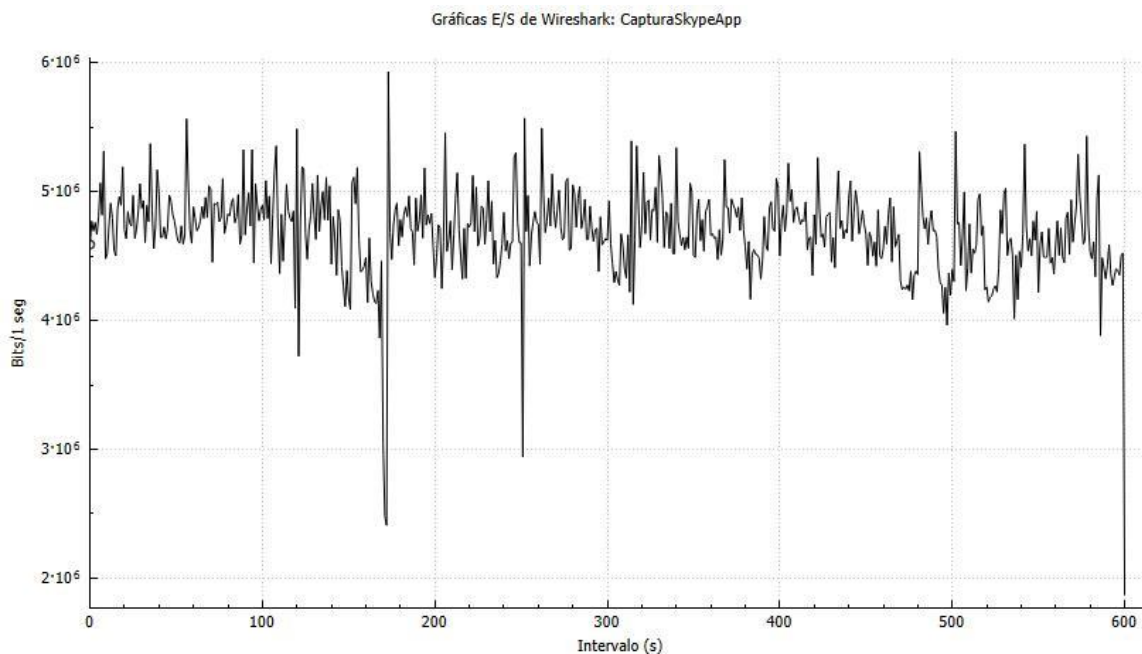
4.1.3 Aplicaciones de videollamada

Los experimentos serán realizados utilizando el servicio de videollamada de Skype, hablando con una persona. En esa videollamada los dos clientes tienen tanto el audio como el vídeo activados y desde el cliente donde se hace la captura del vídeo la aplicación está en modo pantalla completa. Comenzamos observando la captura del servicio de la aplicación de escritorio de la figura 4-14.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
29	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
30	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
31	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
32	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
33	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
34	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
35	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
36	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
37	0.051590	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
38	0.051804	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1127	22841 → sonus-logging(2290) Len=1085
39	0.051804	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1122	22841 → sonus-logging(2290) Len=1080
40	0.051963	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	104	22841 → sonus-logging(2290) Len=62
41	0.070868	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	130	sonus-logging(2290) → 22841 Len=88
42	0.071252	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	112	22841 → sonus-logging(2290) Len=70
43	0.080923	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1150	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1108
44	0.081182	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1142	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1100
45	0.081290	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1142	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1100
46	0.081349	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1142	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1100
47	0.081412	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1142	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1100
48	0.081467	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1142	sonus-logging(2290) → 22841 Len=1100

18Figura 4 14 Captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

Como se puede observar, en este caso el protocolo de transporte es UDP, como era de esperar para el servicio de videoconferencias. La figura 4-15 contiene la gráfica de consumo de ancho de banda generada por esta videollamada:



19Figura 4 15: Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura de correo desde la aplicación de escritorio

Se observa perfectamente la diferencia con el servicio de transmisión de contenido multimedia, ya que en este caso no hay momentos en los que no se envían paquetes, si no que constantemente se están enviando para que la llamada tenga buena calidad y no haya parones ni paquetes perdidos.

El pico de consumo de ancho de banda se produce en el segundo 173 con un valor de $5,932 \times 10^6$ bits/s. La figura 4-16 contiene las estadísticas de la captura ofrecidas por Wireshark:

Estadísticas

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	367187	181464 (49.4%)
Espacio de tiempo, s	600.400	600.395
Promedio pps	611.6	302.2
Promedio de tamaño de paquete, 980 B		995
Bytes	359741304	180547323 (50.2%)
Promedio de bytes/s	599k	300k
Promedio de bits/s	4793k	2405k

20Figura 4 16: Estadísticas de la captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

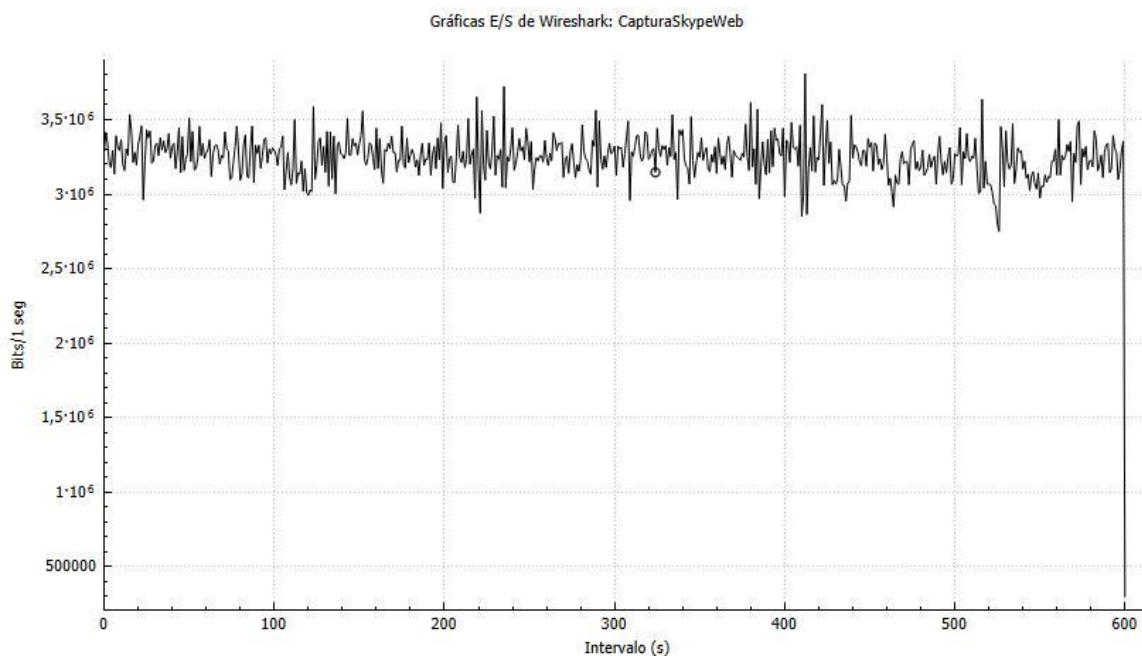
En este caso también se ha filtrado por la dirección de destino para ver cómo se comporta la conexión. Se comprueba que se envían aproximadamente la mitad de los paquetes en cada dirección (49.4% han sido enviados hasta el dispositivo que realizaba la captura donde se han enviado el 50.2% de los bytes de la llamada).

En total se han enviado 367187 paquetes, con un promedio de 611.6 por segundo, con ambos participantes enviando la mitad de los paquetes cada uno. El promedio de bit/s ha tenido un valor de 4793 kb/s.

A continuación observamos la gráfica del cliente del navegador Google Chrome, contenida en la figura 4-18.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
2	0.000434	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
3	0.000562	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
4	0.000721	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
5	0.000887	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
6	0.001018	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1127	50819 → 64004 Len=1085
7	0.001133	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	232	50819 → 64004 Len=190
8	0.006782	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	232	64004 → 50819 Len=190
9	0.006973	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1170	64004 → 50819 Len=1128
10	0.006973	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1170	64004 → 50819 Len=1128
11	0.006973	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1170	64004 → 50819 Len=1128
12	0.006973	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	1170	64004 → 50819 Len=1128
13	0.009604	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	140	50819 → 64004 Len=98
14	0.022114	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	232	50819 → 64004 Len=190
15	0.030823	252.red-2-137-181.d...	192.168.1.37	UDP	232	64004 → 50819 Len=190
16	0.032081	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1100	50819 → 64004 Len=1058
17	0.032415	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1100	50819 → 64004 Len=1058
18	0.032536	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1100	50819 → 64004 Len=1058
19	0.032651	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1100	50819 → 64004 Len=1058
20	0.032766	192.168.1.37	252.red-2-137-181.d...	UDP	1101	50819 → 64004 Len=1059

21Figura 4 17: Captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio



22Figura 4-18: Gráfica del consumo de ancho de banda de la captura de correo desde la aplicación de escritorio

El pico de consumo de ancho de banda se produce en el segundo 412 y tiene un valor de $3,808 \times 10^6$ bits/s. También observamos las estadísticas de la captura:

Estadísticas

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	288136	162440 (56.4%)
Espacio de tiempo, s	600.102	600.059
Promedio pps	480.1	270.7
Promedio de tamaño de paquete, B	849	776
Bytes	244768764	126093705 (51.5%)
Promedio de bytes/s	407k	210k
Promedio de bits/s	3263k	1681k

23Figura 4 19: Estadísticas de la captura del servicio de correo desde la aplicación de escritorio

En total se han enviado 288136 paquetes, con un promedio de 480.1 por segundo. El promedio de bit/s ha tenido un valor de 3263 kb/s. Analizando detenidamente las estadísticas de ambas capturas podemos observar que se consume mucho más ancho de banda desde la aplicación. En este caso el dispositivo que estaba realizando la captura recibe el 56.4% de los paquetes enviados, lo que puede sugerir que desde el otro dispositivo se han enviado más paquetes por haber estado usando la aplicación de escritorio. Sin embargo, los datos de los bytes totales recibidos son muy parejos, recibiendo el 51.5% el dispositivo que hacía la captura de la red.

5 Conclusiones

El ancho de banda es una medida de la red muy importante para todos los servicios que utilizan Internet, ya que no es un recurso ilimitado y de su disponibilidad depende el buen funcionamiento de muchas aplicaciones que usan millones de usuarios a diario. En estos tiempos que corren en los que las personas han tenido que estar encerrados en sus hogares ha sido crucial disponer de una buena conexión a Internet para poder asistir a las videoconferencias del trabajo o la escuela, como para también relajarse y disfrutar de una película usando un servicio de streaming multimedia.

La idea de este Trabajo de fin de Grado era comprobar si había maneras de reducir el consumo de ancho de banda en los hogares, al igual que también se puede reducir para las empresas. Se ha comparado el consumo de ancho de banda del servicio de correo, el servicio de streaming multimedia y el servicio de videoconferencia usando tanto la aplicación de escritorio como la aplicación web.

Como se ha podido observar en los resultados obtenidos para los distintos experimentos con cada servicio que hace uso de Internet que ha sido objeto de este estudio, el consumo de ancho de banda en las aplicaciones de escritorio ha sido significativamente mayor que el consumo generado por la ejecución del mismo servicio realizado en la aplicación web bajo las mismas condiciones. Este resultado se debe a los mecanismos que se han implementado en la Web para reducir el consumo de ancho de banda, ya que el tiempo de respuesta de las aplicaciones en la web es una medida crucial a la hora de poder disfrutar de un servicio de calidad.

Uno de los distintos mecanismos que utiliza la web está basados en el hecho de que hay objetos estáticos en las páginas web que no es necesario que se vuelvan a pedir al servidor web, ya que no van a cambiar. Por eso se comprueba mediante la petición condicional GET si este objeto ha cambiado para que el servidor lo traiga de vuelta. En cuanto al contenido dinámico, estará incrustado dentro de un contenedor estático y lo único que va a tener que pedir el browser al server es el nuevo contenido dinámico que se genere.

Otra herramienta muy potente son los servidores proxy y las cachés, que hacen de intermediarios entre los clientes y los servidores web, filtrando y comprimiendo los paquetes cuando sea posible para reducir el consumo de ancho de banda. Además, estos servidores almacenan el contenido de las respuestas a las peticiones que se han hecho recientemente o de las que se hacen muy a menudo, evitando así tener que hacer la petición al servidor web, ahorrando bastante ancho de banda y reduciendo la latencia del usuario final.

También es importante recalcar los mecanismos de compresión de los datos que se hace en la web gracias a los algoritmos de compresión que se especifican en el protocolo HTTP. Con la compresión de los datos se reduce considerablemente el volumen de datos que circula por la red.

Queda demostrado empíricamente que el uso de los navegadores web reduce en gran medida el ancho de banda que se consumiría utilizando las aplicaciones de escritorio. Elegir usar el navegador puede hacer disminuir el precio que se paga en los hogares por el uso de Internet además de permitir poder disfrutar de un mayor número de servicios simultáneos entre los convivientes de un hogar.

Referencias

- [1] James F. Kurose, Keith W. Ross, “*Computer networking: a top-down approach, 6th edition*”, Pearson, Marzo 2012.
- [2] Oliver Spatscheck; Michael Rabinovich, “*Web Caching and replication*”, Pearson, Diciembre 2001
- [3] Shailesh Kumar Shivakumar, “*Modern Web Performance Optimization: Methods, Tools and Patterns to Speed Up Digital Platforms*” Springer, 2020

Glosario

TFG	Trabajo de Fin de Grado
HTTP	HyperText Transfer Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
POP3	Post Office Protocol – Version 3
IMAP	Internet Mail Access Protocol
UDP	User Datagram Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
webRTC	web Real Time Communication

